

# DECIGO/DPF用の周波数安定化光源の開発(4)

堀内慎也\*, 中村真大, 武者満, 中川賢一, 植田憲一

電気通信大学 レーザー新世代研究センター

# 目的

ILS.UEC/Tokyo

## 宇宙重力波アンテナDECIGO計画 DECIGO Pathfinder (DPF)のための光源の開発

	DECIGO	DPF
出力	10 W	0.025W
波長	532 nm (or 515 nm)	1030 nm
強度安定度	$\delta I / I \leq 10^{-8} / \sqrt{\text{Hz}}$	$\delta I / I \leq 10^{-8} / \sqrt{\text{Hz}}$
周波数安定度	$\delta f \leq 0.5 \text{ Hz} / \sqrt{\text{Hz}} @ 1 \text{ Hz}$ @532 nm	$\delta f \leq 1 \text{ Hz} / \sqrt{\text{Hz}} @ 1 \text{ Hz}$ @1030 nm

出力以外は両計画とも

強度・周波数安定度の点で同等の性能が必要

# これまでの報告

IIS.UEC/Tokyo

## ●光源Yb:NPRO(波長1030nm)をヨウ素の飽和吸収線に安定化

- WG-PPLNでSHG(波長515nm)を得てヨウ素吸収線を光周波数基準として使用した
- modulation transferを行い、飽和吸収線の微分信号を得た

## ●周波数安定化

- 周波数安定度  $1 \times 10^1 \text{Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$

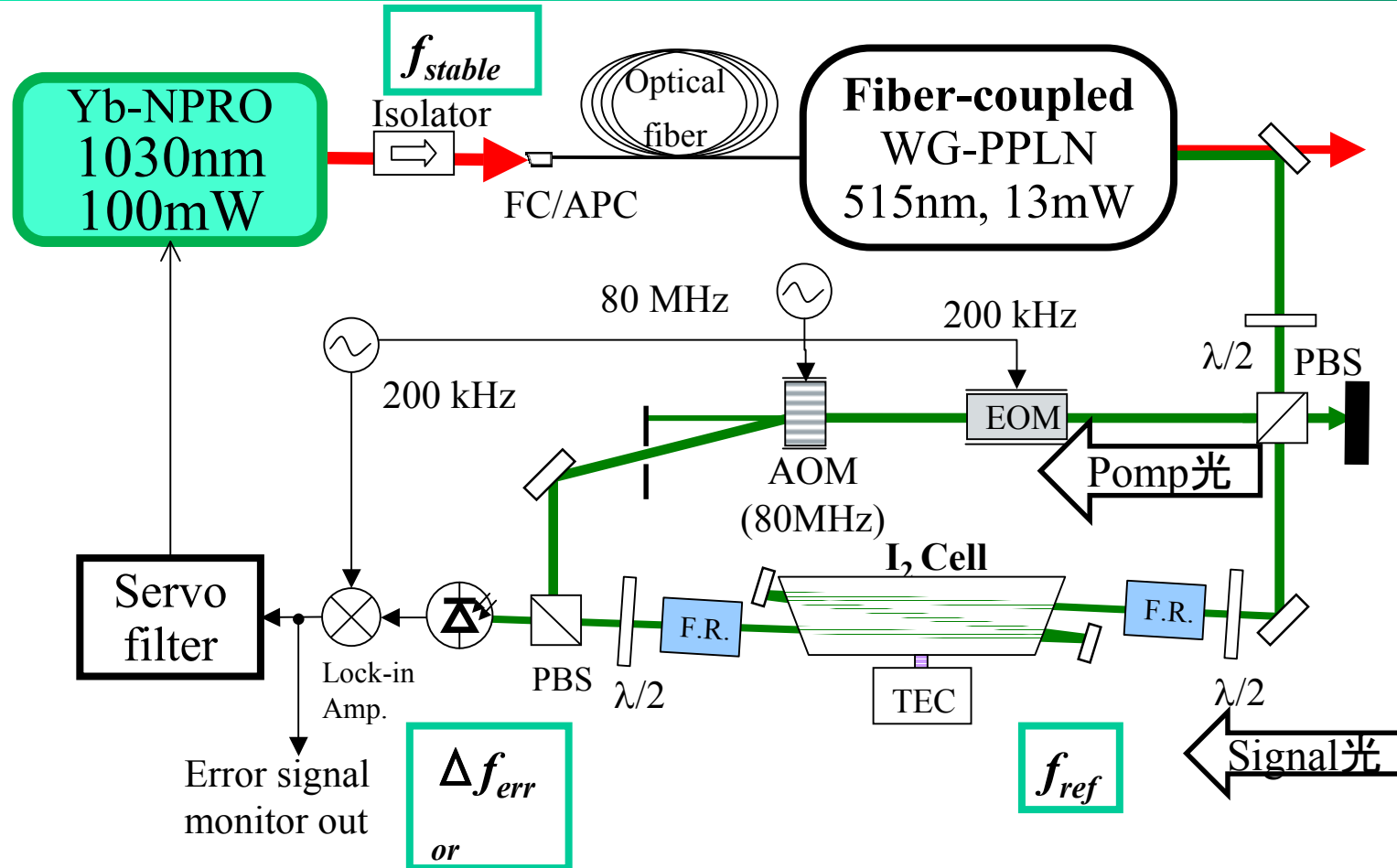
## ●強度安定化

- 同相雑音除去により、RF 変調帯域での強度安定化
- AOMにより観測帯域での強度安定化  
強度安定度 1Hzで  $1 \times 10^{-7}/\sqrt{\text{Hz}}$

要求値を  
未達成

# 周波数安定化の実験系

I.L.S.U.EC/Tokyo



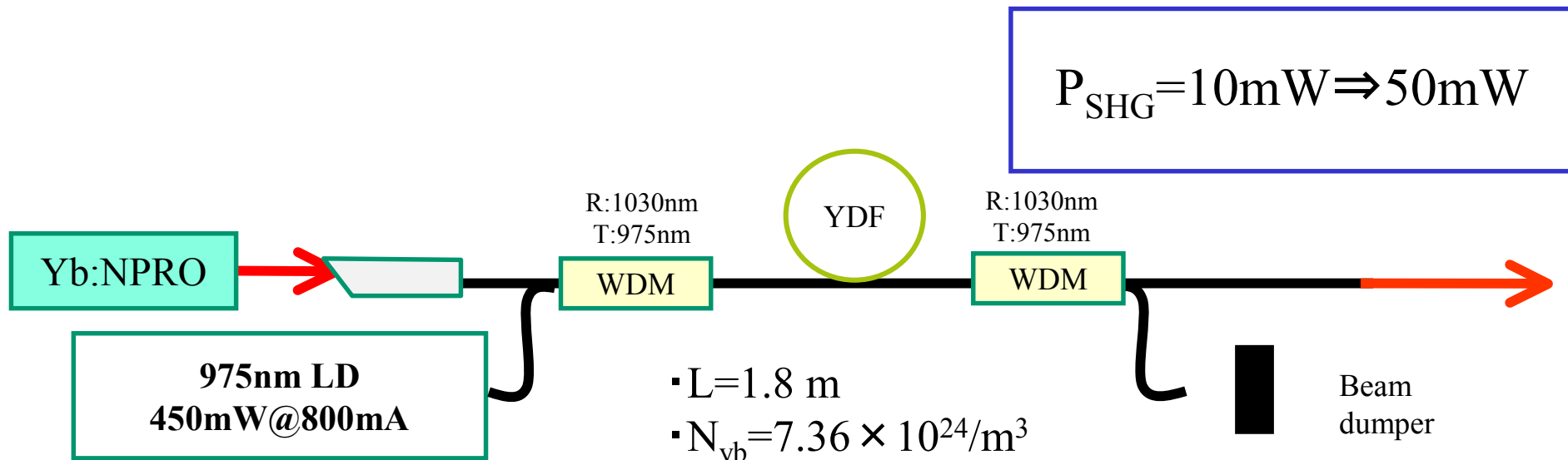
光周波数安定化のための実験系

# Yb fiber Amplifier

ILS.UEC/Tokyo

## 出力増強を行う理由

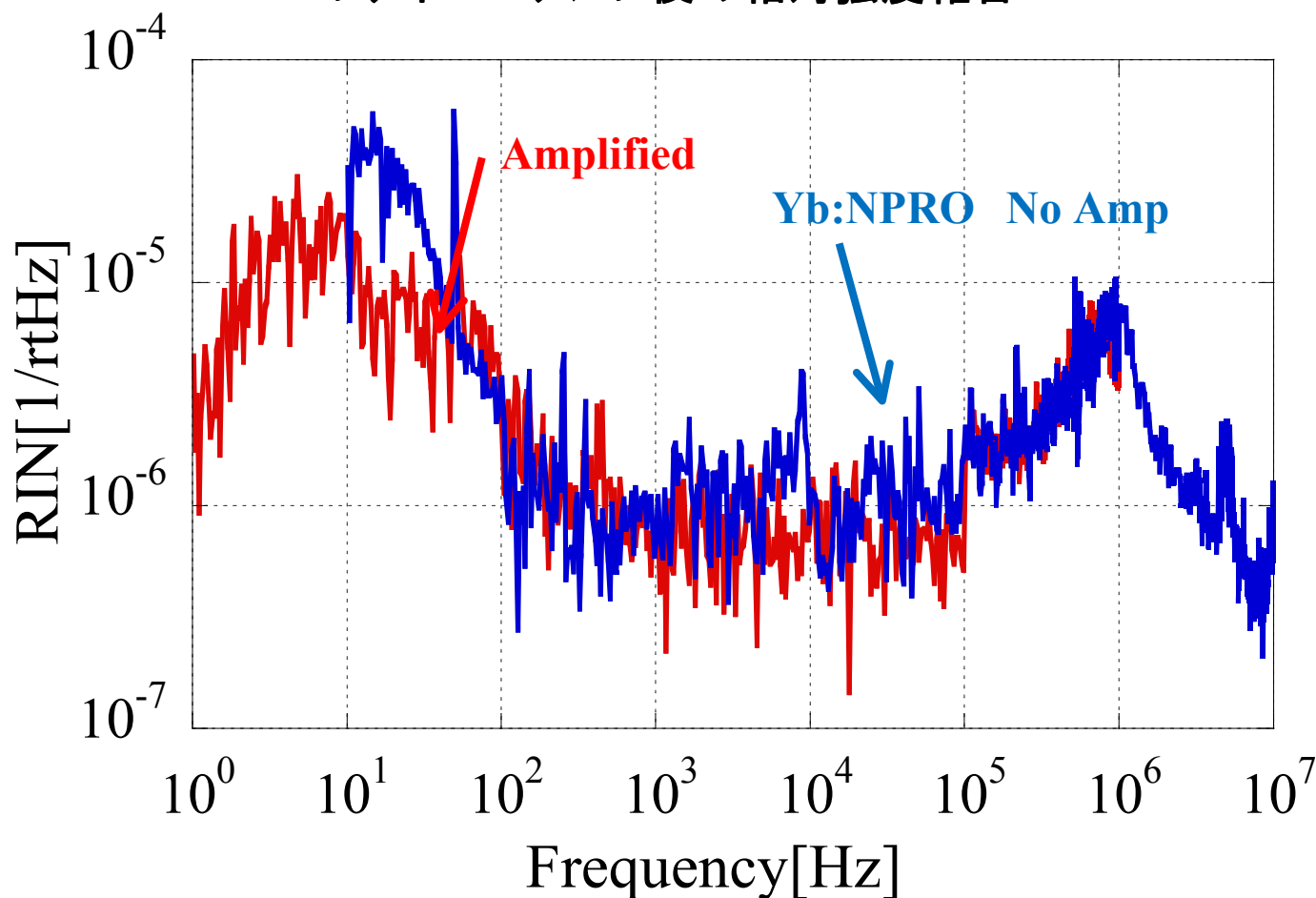
- ・モード不安定性を解消すべく、光源の出力を低下させた
- ・光源への出力依存を緩和し、他の光源でも出力に関し柔軟に対応する
- ・弁別曲線の信号強度を増大させるためヨウ素との相互作用長を増やす



# ファイバー増幅後の相対強度雑音

ILS.UEC/Tokyo

ファイバーアンプ後の相対強度雑音



増幅後で雑音レベルの増加は見られない

# 周波数安定化 誤差信号評価

I.L.S.U.EC/Tokyo

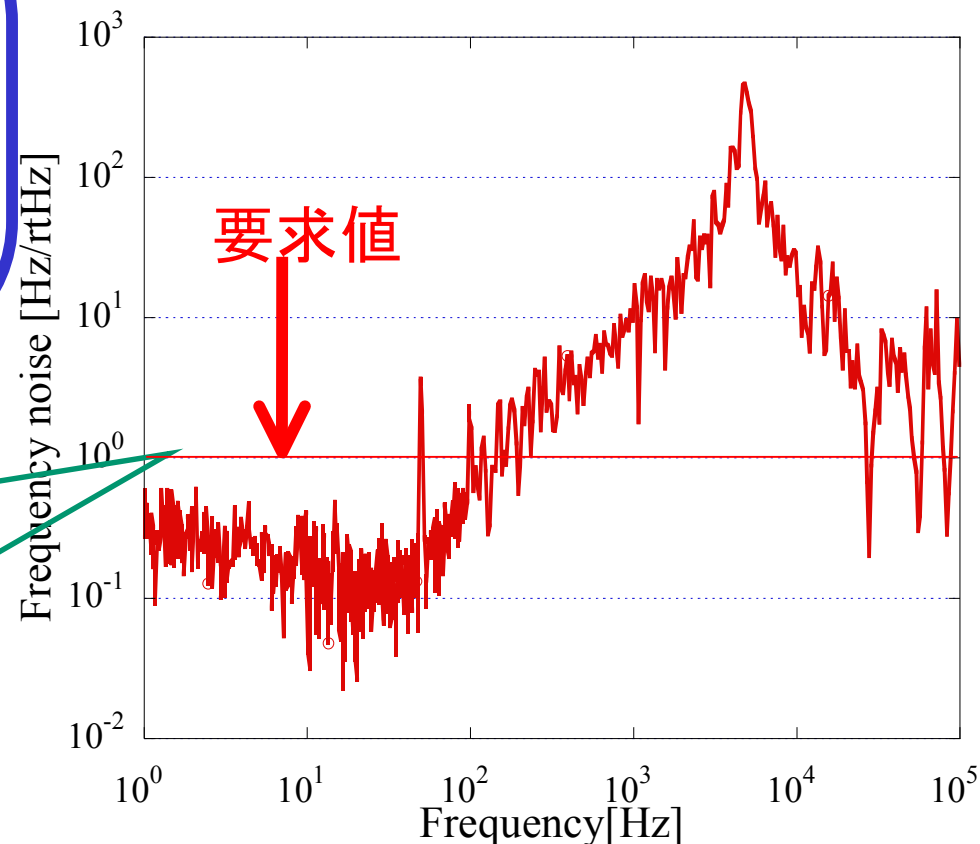
サーボ光源とヨウ素吸収線(光周波数基準)との  
誤差信号から周波数安定度を評価した

## 改良点

- ・ロックインアンプの交換
- ・サーボ回路(制御帯域8kHz)の最適化を行い制御帯域を広げ利得を大きくした

観測帯域1Hzでの  
周波数安定度は  
要求値を満たす

## 誤差信号による周波数安定度

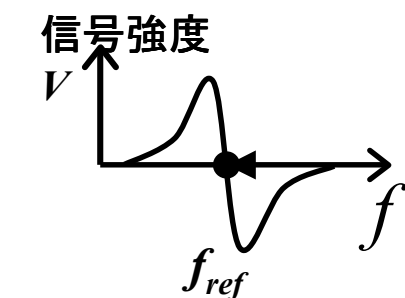


# 弁別信号による周波数安定度の上限

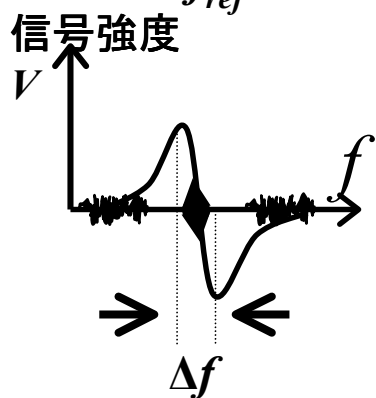
I.L.S.U.EC/Tokyo

光周波数基準の周波数安定度に対して評価を行った  
周波数安定度 = 誤差信号安定度 + 光周波数基準の安定度 ←両方を評価する必要がある

分子の光吸収線

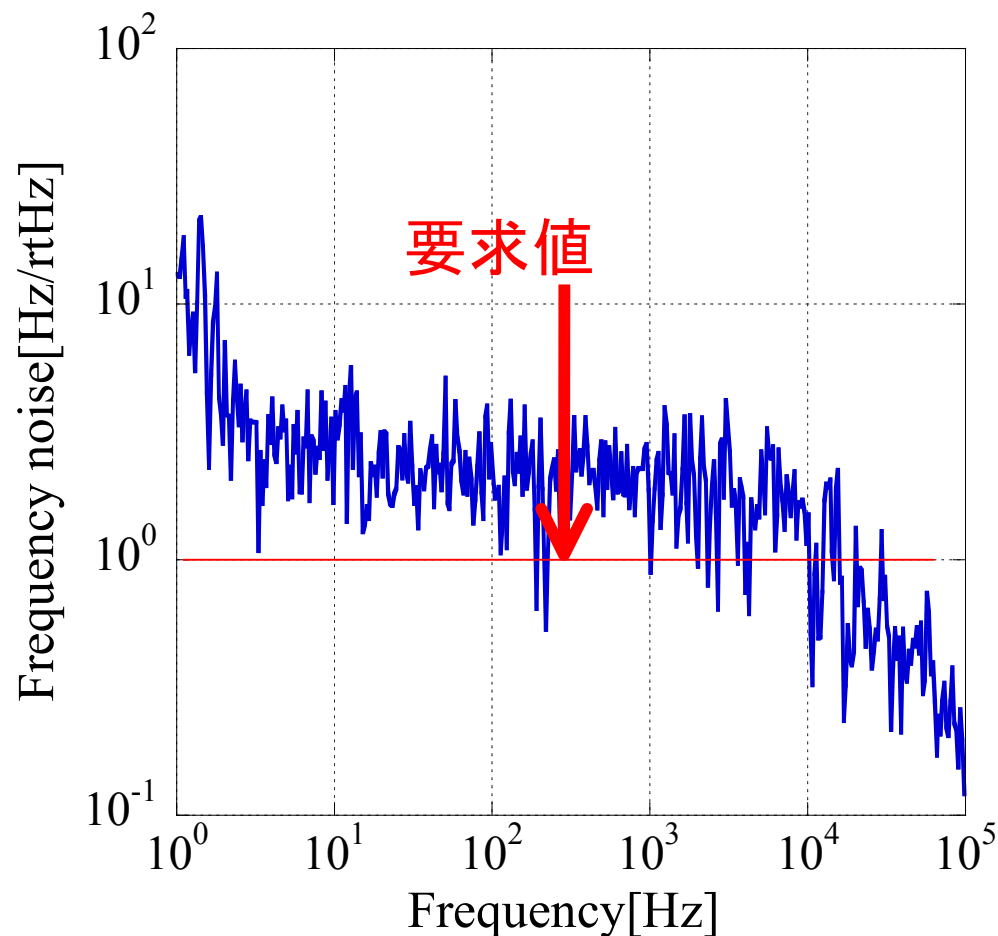


吸収線の絶対値は  
変化しない



周波数を基準信号にロック  
↓  
電気雑音が周波数の揺ぎ  
にカップル。

弁別曲線のS/Nより評価した周波数雑音上限



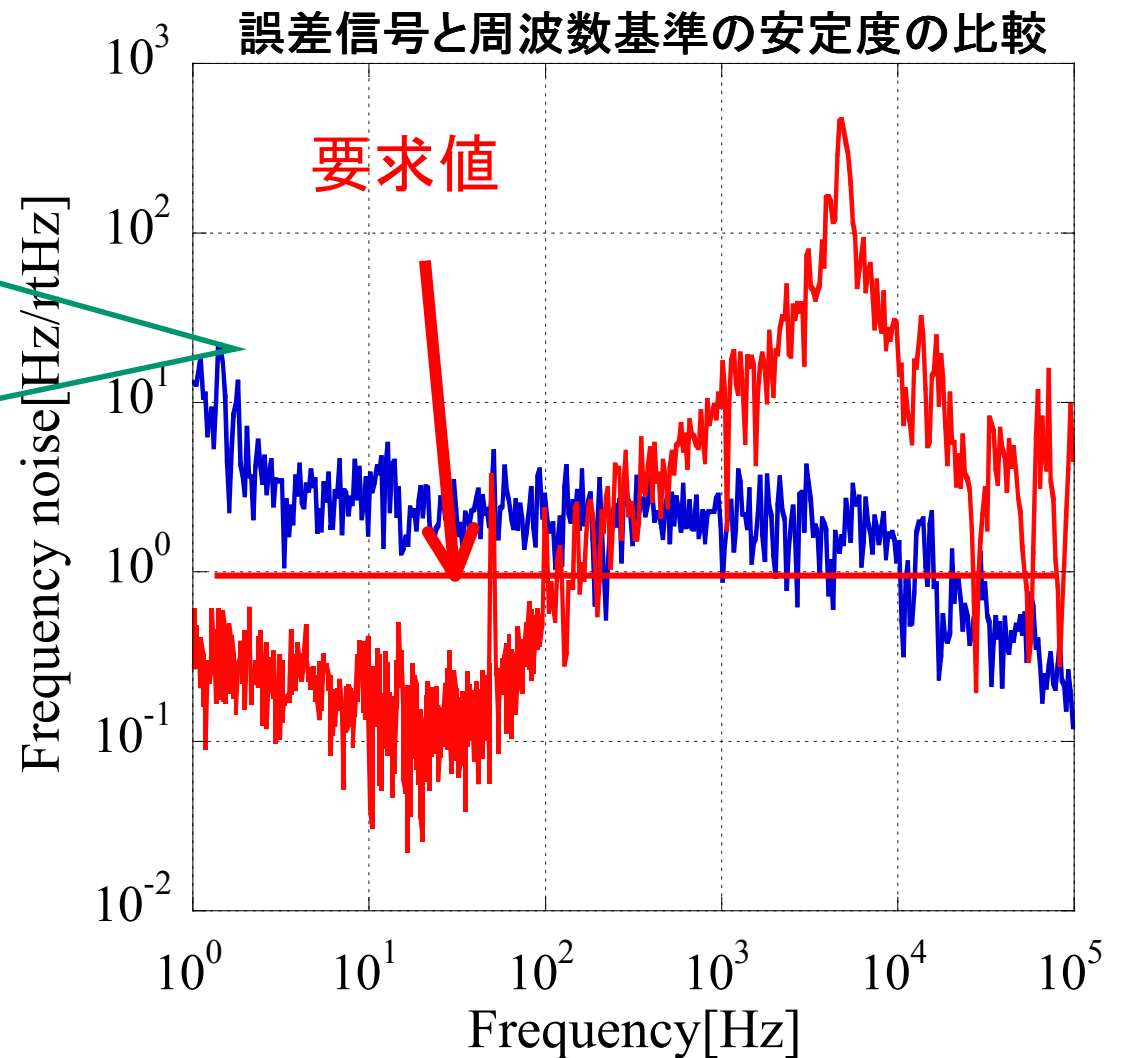


# 二つの周波数安定度の比較と安定度の上限

ILS.UEC/Tokyo

周波数安定度 = 誤差信号安定度 + 光周波数基準の安定度

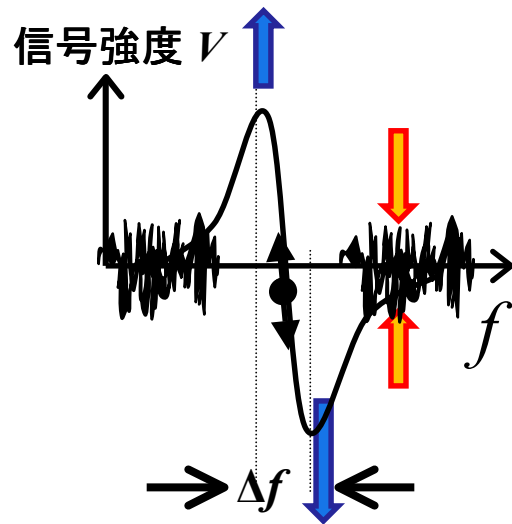
予想される周波数安定度  
安定度の上限



# 周波数安定度を向上するための工夫

ILS.UEC/Tokyo

周波数安定度向上には  $\Rightarrow$  S/N を向上させればよい

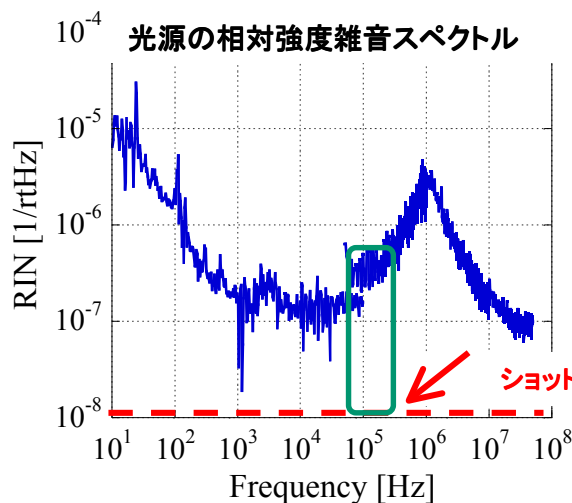


S  
向  
上

吸収線幅の狭窄化

- ・圧力拡がり ← ヨウ素の蒸気圧制御
- ・ビーム径
- ・パワーブロードニング
- ・ヨウ素との相互作用長をのぼす

最適化を行っている



N  
低  
減

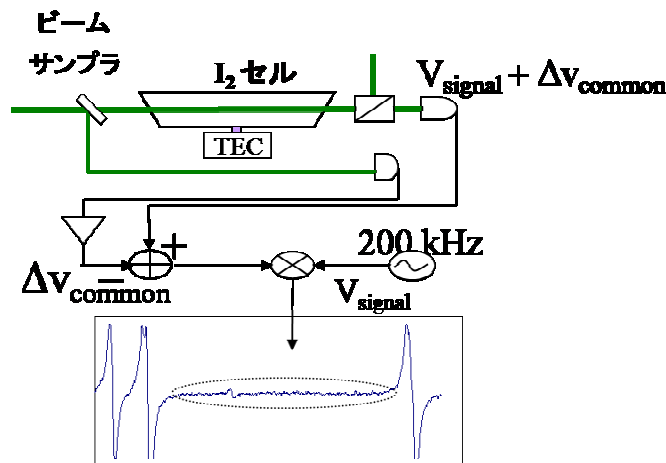
変調帯域での雑音除去

ロックイン検出(200kHz変調)で観測帯域1Hzへ変調帯域の雑音がダウンコンバートする

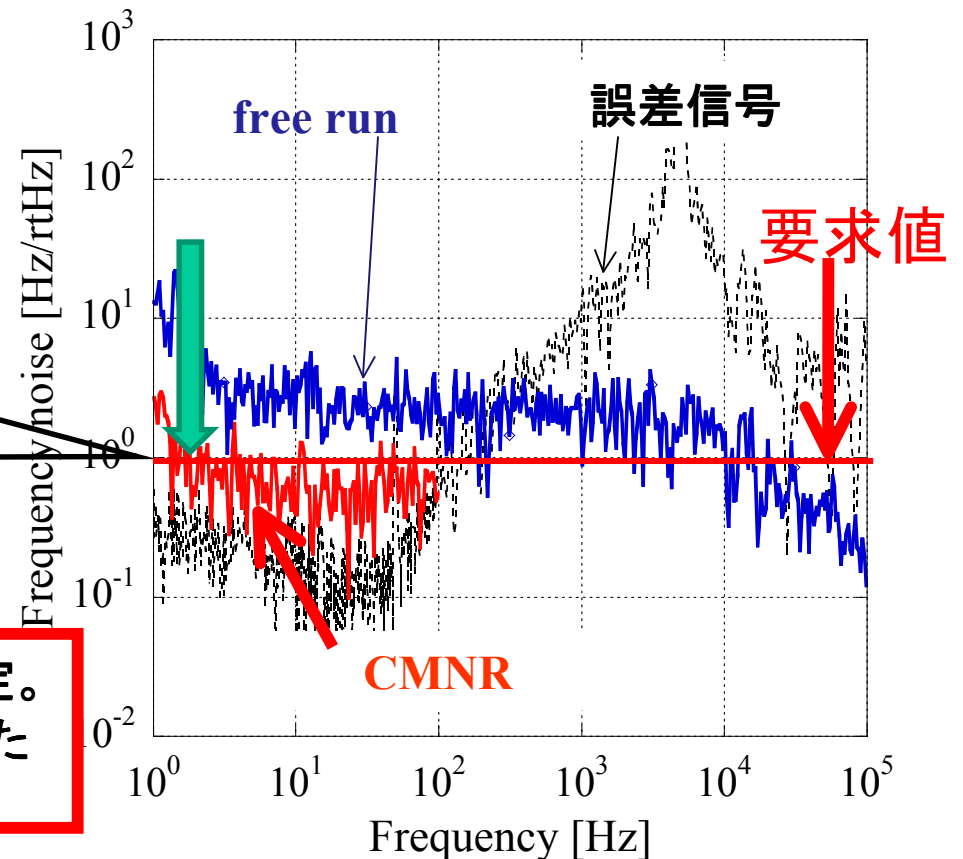
↓  
200kHzでの雑音を減らす

# 変調帯域の強度安定化

同相雑音除去により変調帯域での雑音を抑圧



同相雑音除去による周波数安定度



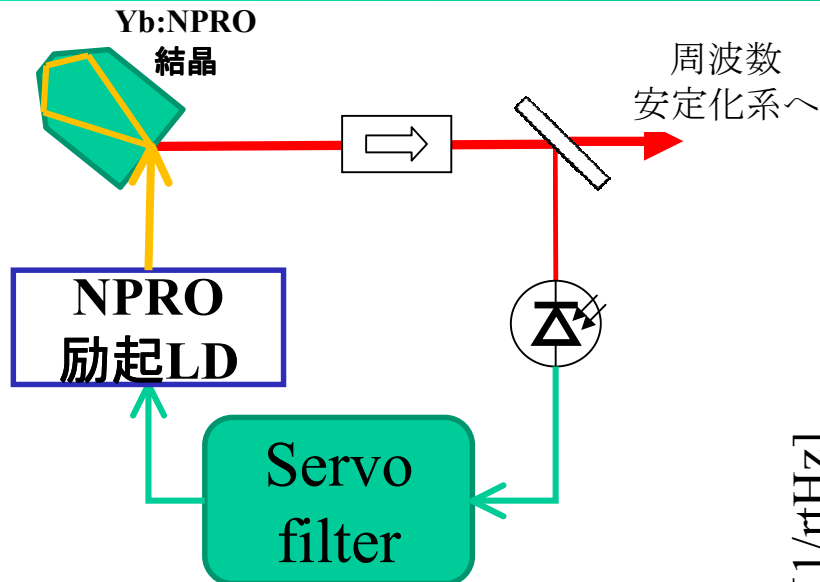
同相雑音除去を行うことで基準信号の  
ノイズを抑圧できた

↓  
周波数安定度  $2\text{Hz}/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{Hz}$  を達成

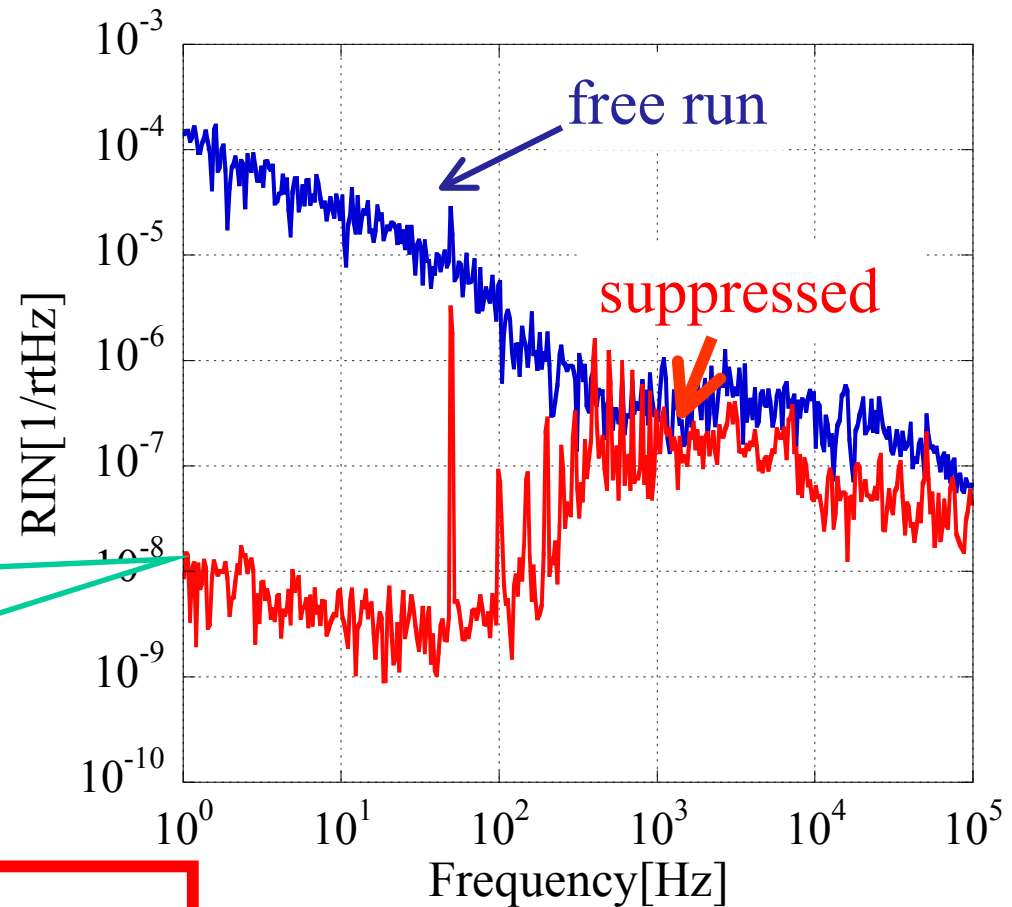
今後はEOMをもちいた強度安定化を行う予定。  
またこれを踏まえてモードロック光コムを用いた  
安定度の測定を行う。

# 光源の励起LD電流帰還による強度安定化

I.L.S.U.EC/Tokyo



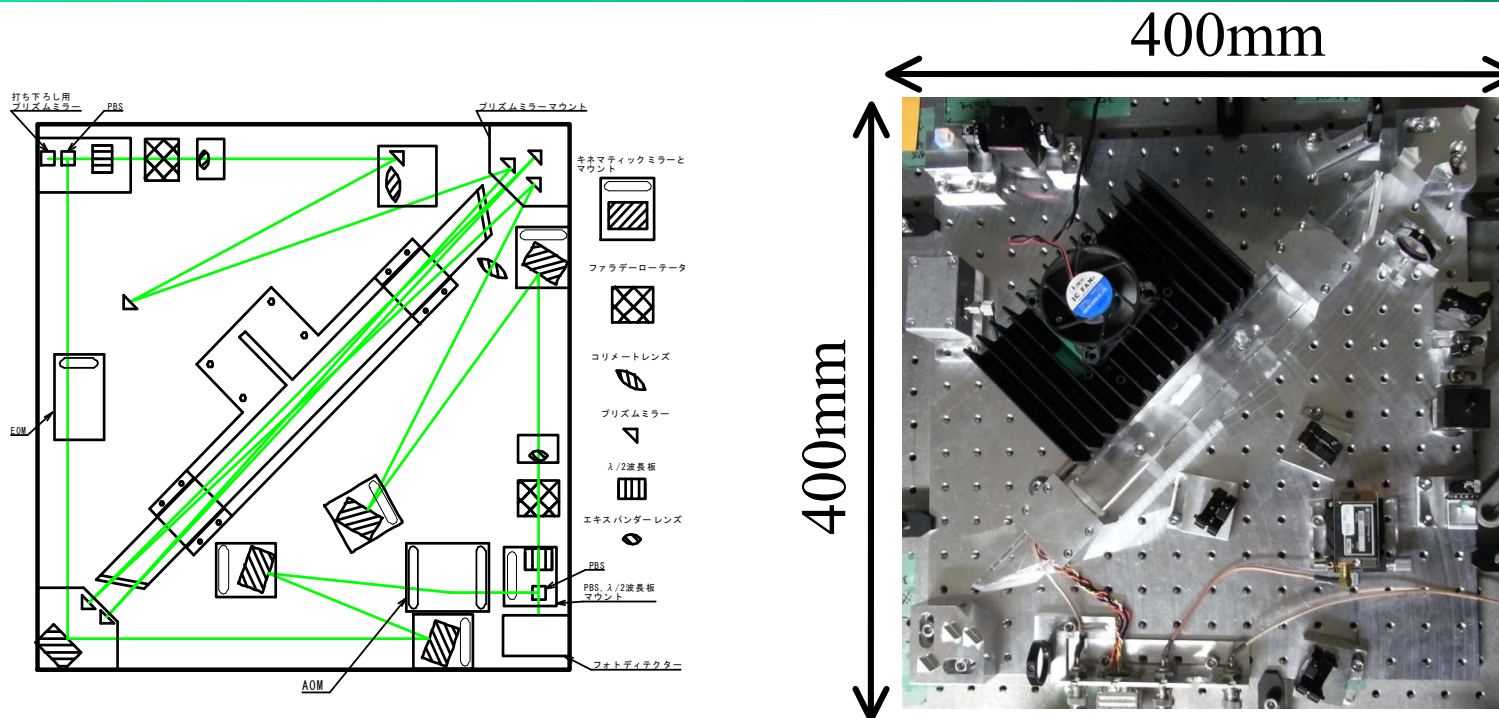
## 電流帰還による強度安定度



ただしこれは in loop での評価  
今後 out of loop で評価を行う必要がある

# ブレッドボードモデルの全面改良

IILS.UEC/Tokyo



## 改良点

機械的安定性の向上のため

- ・光軸を下げる
- ・ブレッドボードへの直接固定(クランプフックフリー)
- ・可動部をへらし固定ミラーを使用した

電気まわりの整理

今後ブレッドボードモデルを使い信号を取得 自動安定化系の構築を進める

# まとめ 今後の課題

ILS.UEC/Tokyo

## DECIGO/DPF用の光源開発

- 誤差信号評価によって周波数安定化

$2[\text{Hz}/\sqrt{\text{Hz}}]@1\text{Hz}$ を達成

- 光源の励起電流帰還による強度安定化

$1 \times 10^{-8} [1/\sqrt{\text{Hz}}]@1\text{Hz}$ を達成

- ブレッドボードモデルの全面改良

要求値は  
In loop では  
達成

## 今後の予定

- 周波数安定度のモードロック光コムによる評価
- RF帯域のEOMを用いた強度安定化による周波数安定度の向上
- 光源の再検討⇒ファイバーレーザーへの置換
- ブレッドボードモデルの自動制御系までをまとめた系の完成
- 周波数安定部のファイバー化を進める